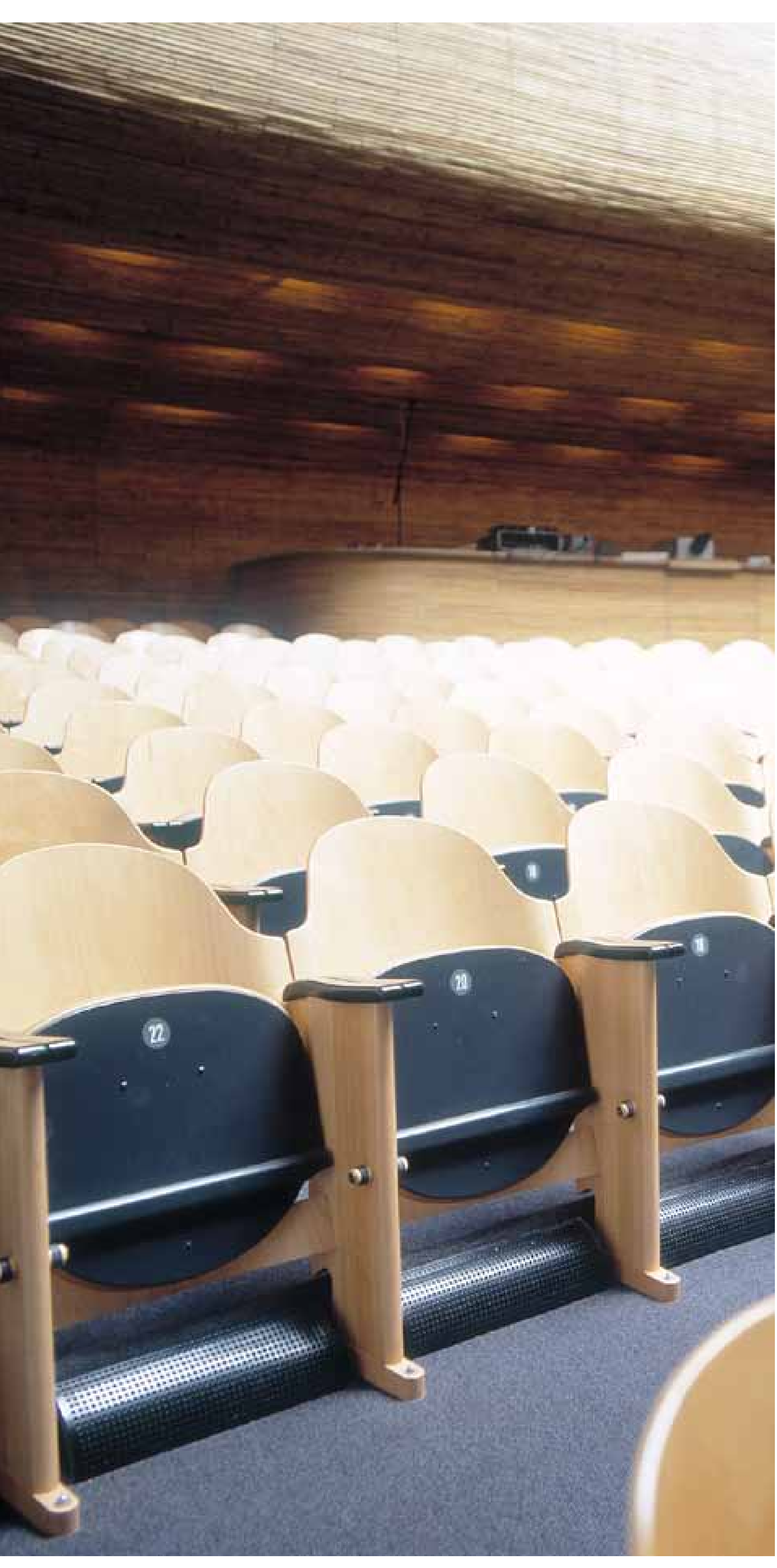
Grundlagen



Grundlagen

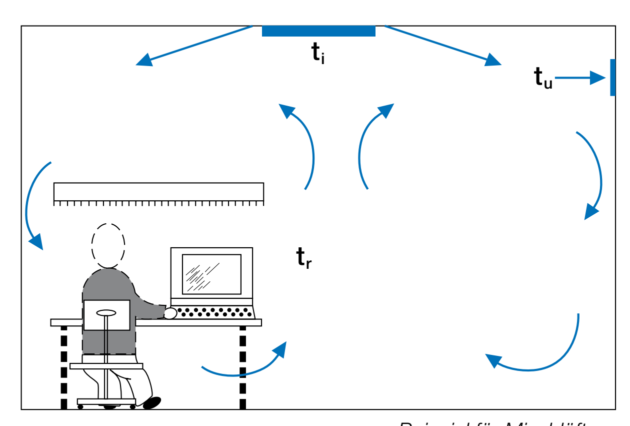
Inhalt

Änderungen vorbehalten



Luftverteilungssysteme

Mischlüftung



Beispiel für Mischlüftung

Bei der Mischlüftung wird einem Raum Luft mit verhältnismäßig hoher Geschwindigkeit außerhalb des Aufenthaltsbereiches, in der Regel von Wand oder Decke, zugeführt. Die hohe Einblasgeschwindigkeit bedingt, dass erhebliche Mengen an Raumluft mitgerissen werden. Deshalb sollte die Einblasgeschwindigkeit so festgelegt werden, dass eine wirksame Vermischung mit der Raumluft gewährleistet ist, und dass die Strahlgeschwindigkeit bei Eintritt in den Aufenthaltsbereich kleiner ist als der entsprechende Grenzwert, der z.B. durch die DIN 1946 vorgegeben wird.

Hieraus ergeben sich konkrete Anforderungen an die Wirksamkeit der Zuluftdurchlässe in Bezug auf die Einblasgeschwindigkeit und die Vermischung mit der Raumluft.
Eine Erhöhung der Einblasgeschwindigkeit bewirkt immer eine entsprechende Steigerung des Schallpegels. Auflagen, die den Schallpegel begrenzen, wirken somit der Effizienz der Durchlässe entgegen. Temperatur und Verunreinigungskonzentration weisen in der Regel überall im Raum die gleichen Werte auf, wenn es sich um die Zufuhr isothermer Luft oder Luft mit hoher Kühllast handelt.

Die Mischlüftung ist verhältnismäßig unempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen und kann im Heizfall wie im Kühlbetrieb gleichermaßen eingesetzt werden.

Zuluft mit hohem Warmluftanteil

Da die Zuluft im Heizfall leichter als die Raumluft ist, ist viel Energie erforderlich, um die Luft in die Aufenthaltszone zu drängen. Das bedeutet, dass die Einblasgeschwindigkeit mit zunehmender Raumhöhe und Warmluftmenge erhöht werden muss.
Bei großer Raumhöhe ist in der Regel eine direkt nach unten gerichtete Luftführung erforderlich.

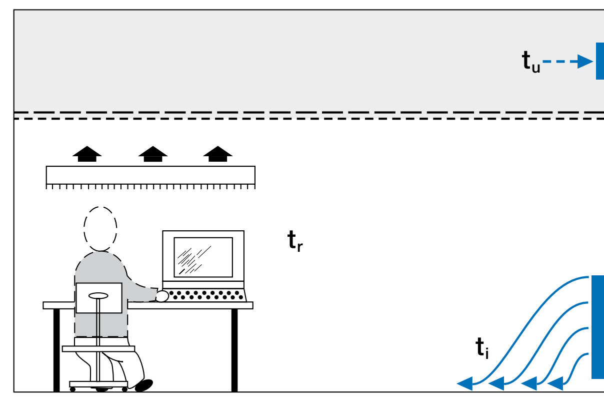
Zuluft mit hoher Kühllast

Durch die schwerere Zuluft, die bei Kühlbetrieb von der Decke eingeblasen wird, können sich bei hohen thermischen Belastungen zu hohe Geschwindigkeitswerte im Aufenthaltsbereich ergeben. Die Strahlen von den Durchlässen (normalerweise waagerecht) und die Konvektionsströme (senkrecht) von den Wärmequellen (Personen, Beleuchtung, Maschinen) bewirken im Aufenthaltsbereich eine Strömung der Luft. Die Geschwindigkeit hängt außer von der Einblasgeschwindigkeit am Durchlass und der Wärmebelastung pro Flächeneinheit (W/m^2) von der Verteilung der zugeführten Luft auf die einzelnen Durchlässe sowie deren Strahlbild ab.

Durch Zufuhr von Heiz- und Kühlluft aus dem gleichen Deckendurchlass können die Anforderungen an Temperaturgefälle, Ventilationsleistung und Geschwindigkeit in der Aufenthaltszone normalerweise nicht gleichzeitig erfüllt werden.

Die Lösung für dieses Problem können motorisierte Durchlässe sein, die die Luftführung ändern können.
Eine andere Möglichkeit wäre, die Durchlässe für die Kühllast auszulegen und diese durch senkrecht gerichtete Hilfsdüsen für Zuluft mit hohem Warmluftanteil zu ergänzen.

Verdrängungs-/Quellüftung



Beispiel für Verdrängungslüftung

Die von den Wärmequellen des Raumes ausgehenden thermischen Kräfte regeln bei der Verdrängungslüftung die Luftverteilung. Bei niedriger Geschwindigkeit und Kühllast wird die Luft dem Raum direkt im Aufenthaltsbereich in Bodenhöhe zugeführt. Die Luft strahlt auf den ganzen Bodenbereich aus und verdrängt die warme verunreinigte Luft. Diese wird durch die Konvektionsströme der Wärmequellen aufwärts geführt. An der Decke bildet sich eine warme, verunreinigte Luftschicht, aus der die Abluft dem Raum entnommen wird.
Die Ventilationsleistung bei der Verdrängungsbelüftung ist wegen der Schichtenbildung größer als bei der Mischlüftung. Der Unterschied wird um so größer, je höher der Raum und je größer die thermische Belastung ist.
Die Steigerung der Ventilationsleistung bedeutet, dass weniger Kühlleistung benötigt wird bzw. dass zugeführte Frischluft besser genutzt wird.
Verdrängungslüftung kann unter normalen Bedingungen nicht zur Heizung eingesetzt werden.

Der Nahbereich des Durchlasses ist ausschließlich von der zugeführten Luftmenge, der Kühllast und der Anordnung des Durchlasses abhängig; Geometrie und Luftführung des Durchlasses haben eine eher untergeordnete Bedeutung.
Die Fläche des Nahbereiches hängt von der Luftmenge und der Kühllast ab. Die Geometrie des Nahbereiches lässt sich durch das Verstellen der Verteilerdüsen im Quellauslass je nach Bedarf ändern oder anpassen.

Luftverteilungssysteme

Beispiel für Niedrigimpulslüftung

Niedrigimpulslüftung

Bei der Niedrigimpulslüftung wird Luft mit Kühllast von der Decke aus mit niedriger Geschwindigkeit in den Raum eingebracht. Die reine Luft verdrängt die verschmutzte Luft, die möglichst nah am Boden abgesaugt werden sollte.
Es ist optimal, wenn die Zuluft in kleinen Mengen über die gesamte Decke verteilt werden kann.
Das System kann nicht zur Heizung eingesetzt werden.

Wahl des Luftverteilungssystems

Die beschriebenen Systeme haben spezifische Vor- und Nachteile. Vor der Wahl einer Systemlösung muss deshalb eine sorgfältige Abwägung erfolgen.
Allen drei Systemlösungen gemein ist, dass der thermische Komfort mit optimaler Verteilung und zunehmender Zahl der Durchlässe im Raum besser wird.
Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme sind nachstehender Übersicht zu entnehmen:

Mischlüftung

+ für Kühl- und Heizzwecke einsetzbar
+ hohe Induktion ermöglicht große Temperaturunterschiede zwischen Zuluft und Raumluft
+ kleiner Temperaturgradient, d.h. annähernd gleiche Temperaturen im ganzen Raum
+ stabiles Strahlbild
+ flexible Anordnung der Durchlässe
+ keine Einschränkung der Raumfläche
- Gefahr eines Kurzschlusses, d.h. Beeinträchtigung der Ventilationseffektivität (besonders im Heizfall)
- hoher Energiebedarf / hohe Leistungsaufnahme im Kühlbetrieb
- Gefahr von Zugluftbildung bei hoher Kühllast

Verdrängungslüftung

+ hohe Ventilationseffektivität
+ geringe Leistungsaufnahme im Kühlbetrieb
+ niedrige Geschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich, nicht jedoch im Nahbereich
+ gut zur Kühlung hoher Räume geeignet
- größere Luftmengen als bei der Mischlüftung erforderlich
- Reduzierung der Nutzfläche
- niedrige Induktion
- hoher vertikaler Temperaturgradient
- nicht zur Heizung geeignet

Niedrigimpulslüftung

+ sehr gut bei hohen Luftwechselraten mit begrenzter Kühllast geeignet
+ keine Einschränkung der Nutzfläche
+ hohe örtliche Ventilationseffektivität
- niedrige Induktion
- nicht zur Heizung geeignet.
- Absaugung in Fußbodennähe erforderlich

Luftverteilungssysteme

Wahl des Luftführungssystems

		Mischlüftung								Quelllüftung – Comdif –		Niedrigimpuls-lüftung
		Düsen	Gitter	Wanddurchlässe	LCA, LKA	Perforierte Deckendurchlässe	LCP, LKP, FKD	Deckendralldurchlässe	MTL	Wandaufstellung	Bodeneinbau	PS1, PC6, CBAL, CBAV
Büroräume	Heizen + Kühlen				••	••	••	•••				
	0-30 W/m²			••	•••	•••	•••	•••	•	•••		
	30-60 W/m²				••	•••	••	•••				
	>60 W/m²					••	••	••		••	•••	
Versamm-lungsräume	Konferenzräume				•	••	••	••		•••	•••	
	Theater					•	•	•		••	••	
	Hörsäle					•	•	•		••	••	
	Restaurants				•	••	••	••		•••	••	
	Schulungsräume			••	••	•••	•••	•••		•••		
	Ausstellungen		•	••	•••	•••	•••	•••	•	•••	•••	
Öffentl. Räume	Geschäfte	•	•	••	••	•••	•••	•••	•			
	Supermärkte	•	•		•••	•••	•••	•••				
	Sporthallen	•••	••				••			•		
	Schwimmhallen	•••	••			•	••	••				
	Großküchen				•	••	••	••		••		•••
	Laborräume				•	••	••	••		••		•••
	Rein-Räume				•	••	••	•••				
	Wohnungen		••	••	•••	•••			••			
	Soziale Einrichtungen		••	••	•••	•••				••		

• : Brauchbar •• : Gut ••• : Sehr gut

Wahl des Luftführungssystems für den Industriebereich

Lüftungs-bedarf	Wärme-bedarf	Kühl-bedarf	Misch-lüftung	Quell-lüftung	Niedrigimpuls-lüftung
❄ (Klein)	❄ (Klein)	❄ (Klein)	X		
❄ (Klein)	❄ (Groß)	❄ (Klein)	X		
❄ (Klein)	❄ (Groß)	❄ (Groß)	X		
❄ (Klein)	❄ (Klein)	❄ (Groß)		X	X
❄ (Groß)	❄ (Klein)	❄ (Klein)	X		X
❄ (Groß)	❄ (Groß)	❄ (Klein)	X		
❄ (Groß)	❄ (Groß)	❄ (Groß)	X		
❄ (Groß)	❄ (Klein)	❄ (Groß)		X	X

❄ : Klein ❄ : Groß

Planung der Mischlüftung

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18

Planung der Mischlüftung

Aufgabe eines Durchlasses ist es, einem Raum eine bestimmte Menge Luft zuzuführen, wobei der Raum ausreichend belüftet werden soll und bestimmte Parameter wie max. Schallpegel, Strömungsgeschwindigkeit der Luft und Temperaturgradient im Aufenthaltsbereich berücksichtigt werden müssen.
Zur Einhaltung dieser Bedingungen gibt es Auslegungsrichtlinien, von denen die wichtigsten nachstehend aufgeführt werden. Bei der Wahl des Durchlasses müssen die Parameter Druckverlust, Schallleistungspegel und Wurfweite beachtet werden. Diese Daten werden in diesem Katalog separat für jedes Produkt ausgewiesen. Auswahlkriterien und Leistungsdaten unserer Produkte sind das Ergebnis umfangreicher Messreihen, die in unserem Labor mit den entsprechenden modernen Messgeräten durchgeführt und ermittelt wurden.
In der Praxis sind die Verhältnisse jedoch selten so optimal wie in einem Labor. Raumabmessungen und Raumgeometrie, die Möblierung, Lampen, die Anordnung der Durchlässe und vieles andere mehr hat Einfluss auf die Ausbreitung der Luftstrahlen im Raum.
Aus diesem Grund bietet Lindab seinen Kunden an, die Durchführung eines maßstabgerechten Versuches die Funktion der Planung in der Praxis zu testen. Gerade bei größeren und komplizierten Bauvorhaben hat sich dies schon oft als sehr nützlich erwiesen.

Bezeichnungen

A	Totale Raumabsorption	[m²]
b_h	Maximale waagerechte Streubreite bis Isovel 0,2 m/s	[m]
b_v	Maximale senkrechte Streubreite bis Isovel 0,2 m/s	[m]
F	Freier Querschnitt (q/v_0, wobei v_0 gemessen wird)	[m²]
K_{ok}	Korrekturfaktor für Schallleistungspegel	[dB]
$l_{0,2}$	Wurfweite bis Isovel 0,2 m/s	[m]
$l_{0,0}$	Wendepunkt bei senkrechter Zuluft	[m]
l_b	Entfernung vom Durchlass bis zum Punkt der maximalen Streubreite	[m]
L_A	Schalldruckpegel, A-bewertet	[dB(A)]
L_{WA}	Schallleistungspegel, A-bewertet	[dB(A)]
L_{Wok}	Schallleistungspegel im Oktavband	[dB]
L_p	Schalldruckpegel	[dB]
L_W	Schallleistungspegel	[dB]
ΔL	Eigendämpfung	[dB]
D	Raumdämpfung	[dB]
Δp_t	Gesamtdruckverlust	[Pa]
q	Volumenstrom	[m³/h], [l/s]
Δt	Temperaturdifferenz zwischen Zuluft- und Raumlufttemperatur	[K]
v_0	Ausblasgeschwindigkeit	[m/s]
v_x	Strahlgeschwindigkeit bei Entfernung x von der Mitte des Durchlasses	[m/s]
v_{term}	Thermische maximale Geschwindigkeit im Aufenthaltsbereich	[m/s]

Druckverlust

Die Diagramme zeigen den Gesamtdruckverlust (bei ρ = 1,2 kg/m³), d. h. die Summe des statischen und dynamischen Druckes bezogen auf einen Durchlass (ggf. mit Anschlusskasten) bei Anschluss an einen geraden Luftkanal mit einer Länge von 1 m und den gleichen Dimensionen wie der Durchlass.

Schallpegel

Die Diagramme zeigen den A-bewerteten Schallleistungspegel L_{WA} bezogen auf einen Durchlass (ggf. mit Anschlusskasten) bei Anschluss an einen geraden Luftkanal mit einer Länge von 1 m und den gleichen Dimensionen wie der Durchlass.
Der Schalldruckpegel ist ein Maß für die wahrgenommenen Druckvibrationen, während der Schallleistungspegel einen Parameter zur Charakterisierung der Schallquelle darstellt. Beide werden normalerweise in der Einheit dB (Dezibel) angegeben.

Schalldruckpegel (Lp)
Ein Maß für die Schallimmission, die vom Ohr wahrgenommen oder mit einem Mikrofon gemessen werden kann. Der Schalldruck ist abhängig vom Abstand zur Schallquelle und vom umgebenden Raum. Er wird in Pascal (Pa) gemessen und gewöhnlich als Schalldruckpegel in Dezibel (dB) oder dB(A) angegeben.

Schallleistungspegel (Lw)
Die Leistung, die eine Schallquelle (z. B. eine Maschine) in Form von Schallenergie abgibt. Die Schallleistung wird in Watt (W) gemessen und gewöhnlich als Schallleistungspegel in Dezibel (dB) oder dB(A) angegeben.

Im Katalog sind die Schalleigenschaften der Durchlässe als Schallleistungspegel angegeben.

Schallleistungspegel: $L_W = 10 \times \log \frac{N}{N_{re}}$ [dB]

N ist die eigentliche Schallleistung [W], die in Form von Frischluftdruckschwankungen abgegeben wird. $N_{re}=10^{-12}$ W ist der Bezugswert für die Schallleistung.

Schalldruckpegel: $L_P = 20 \times \log \frac{P}{P_{re}}$ [dB]

P ist der eigentliche Schalldruck [N/m²], und $P_{re} = 2 \times 10^{-5}$ N/m² ist der Referenzwert für den Schalldruck.
Raumdämpfung D [dB] ist die Differenz zwischen dem Schallleistungspegel und dem Schalldruckpegel,

$$L_P = L_W - D$$

Der A-bewertete Schallleistungspegel, L_{WA} wird folgendermaßen in den Schalldruckpegel in den einzelnen Oktavbändern umgerechnet:

$$L_{Wok} = L_{WA} + K_{ok}$$

K_{ok} ist ein Korrekturwert und wird für den jeweiligen Durchlass in einer Tabelle angegeben.

Eigendämpfung

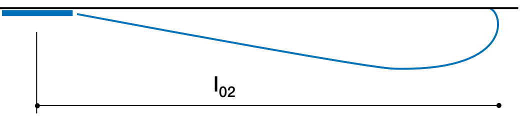
Die Schalldämpfung wird für jeden Durchlass angegeben und bezieht sich auf die Verringerung des Schallleistungspegels zwischen Luftkanal und Raum (einschließlich Mündungsreflexion).

Isotherme Zuluft

Alle technischen Daten beziehen sich auf isotherme Zuluft.

Wurfweite

Die Wurfweite $l_{0,2}$ ist als der größte Abstand zwischen der Mitte des Durchlasses und Isovel 0,2 m/s definiert.
Die für die Wurfweite $l_{0,2}$ angegebenen Werte gelten für den deckenbündigen Einbau von Luftdurchlässen.

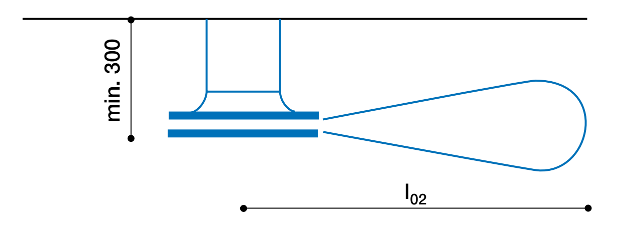


Wurfweite $l_{0,2}$ für deckenbündigen Einbau.

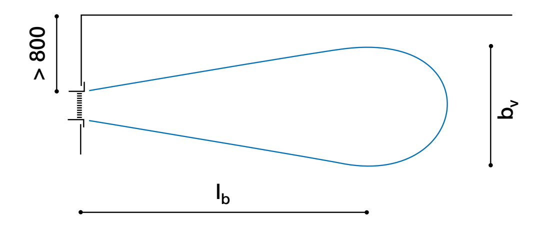
Planung der Mischlüftung

Die Katalogwerte für die Wurfweite beziehen sich auf die deckenbündige Montage der Durchlässe. Bei abgehängter Montage verkürzt sich die Wurfweite gemäß der Formel:

l_{02}abgehängt = 0,8 x l_{02}

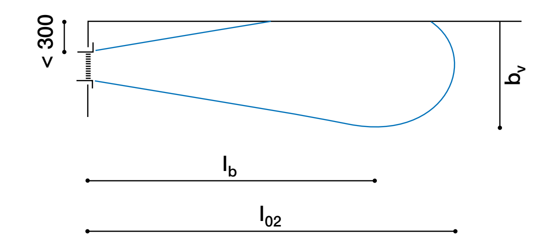


Für Gitter gilt l_{02} bei einer Wandmontage und einem Abstand von mindestens 800 mm zur Decke.



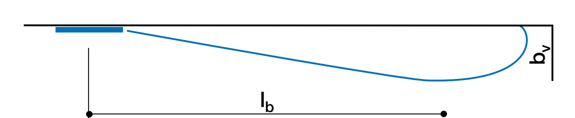
Wird ein Gitter mit einem Abstand von weniger als 300 mm zur Decke eingebaut, gilt für die Katalogwerte:

$l_{0,2\ decke}$ = 1,4 x $l_{0,2}$

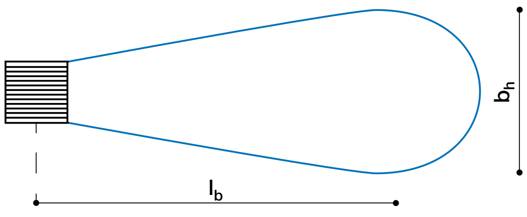


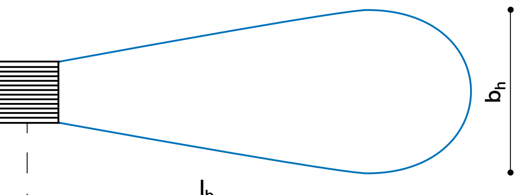
Streubreite

Die maximale senkrechte Streubreite b_v gibt den weitesten senkrechten Abstand zwischen der Decke und Isovel 0,2 m/s an.

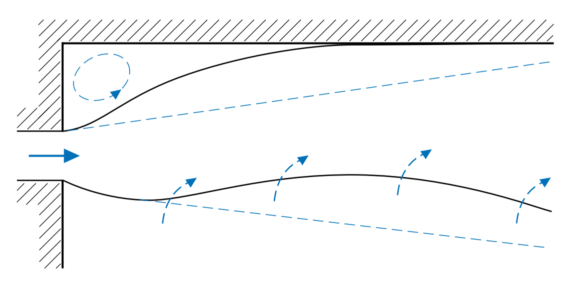


Die waagerechte Streubreite wird als b_h bezeichnet und gibt die maximale waagerechte Streubreite des Luftstrahls für Isovel 0,2 m/s an. Der Abstand zwischen dem Durchlass und dem Punkt der größten Strahlbreite wird als l_b bezeichnet. b_v, b_h und l_b werden für jeden Durchlass als Funktion der Wurfweite $l_{0,2}$ angegeben.





Coanda-Effekt



Luftströmung mit Coanda-Effekt

Beim Einblasen der Luft parallel zu einer Begrenzungsfläche, z.B. einer Decke, entsteht zwischen dem Luftstrahl und der Decke ein Unterdruck, was bewirkt, dass der Strahl sozusagen an der Decke klebt (der sogenannte Coanda-Effekt). Dieser Effekt ist von großer Bedeutung, insbesondere beim Einblasen gekühlter Luft.
Um einen möglichst großen Coanda-Effekt zu erreichen, ist die Luft in kleinen Mengen pro Durchlass bei möglichst regelmäßiger Beaufschlagung der Deckenfläche zuzuführen, und zwar mit der größtmöglichen Geschwindigkeit. Der Effekt entfällt völlig bei Geschwindigkeiten unter 0,35 m/s.
Somit besteht das optimale Verfahren darin, die Zuluft eines Durchlasses in vollem 360°-Muster ohne seitliche Abdeckungen einzublasen.
Speziell für Schlitzdurchlässe wurde, um einen Strahlabfall von der Decke auszuschließen, eine Aufteilung in aktive und inaktive Sektionen vorgenommen.

Wird ein Gitter mit einem Abstand von weniger als 300 mm zur Decke eingebaut, müssen die Katalogwerte für die Wurfweite l_{02} mit 1,4 multipliziert werden.

Geschwindigkeit im Strahl

Die Luftgeschwindigkeit des Kernstrahls lässt sich innerhalb eines begrenzten Bereichs mit der folgenden Formel berechnen:

$$v_x = \frac{l_{0,2} \times 0{,}2}{x} \iff x = \frac{l_{0,2} \times 0{,}2}{v_x}$$

x bezeichnet die Entfernung in Metern zwischen dem Durchlass und dem Punkt im Kernstrahl, an dem die Luftgeschwindigkeit v_x [m/s] beträgt.

Beispiel

Ein Durchlass hat die Wurfweite $l_{0,2}$ = 3 m. Die Entfernung zu dem Punkt, an dem die Strahlgeschwindigkeit 0,3 m/s beträgt, wird folgendermaßen berechnet:

$$X = \frac{3\ m \times 0{,}2\ m/s}{0{,}3\ m/s} = 2\ m$$

Planung der Mischlüftung

Nicht-isotherme Zuluft

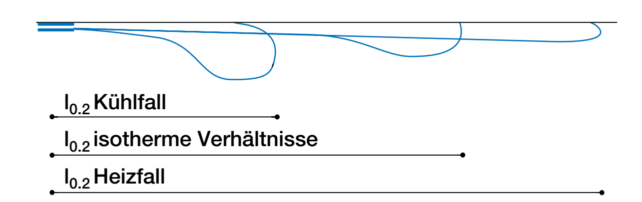
Die Katalogwerte für Wurfweiten gelten meist für isotherme Zuluft. Bei der Zufuhr von Kühl- oder Warmluft bewirken die thermischen Kräfte, dass der Strahl nach unten (Kühlung) oder nach oben (Heizung) geführt wird. Für eine Beschreibung der Strahlströmung wäre es erforderlich, das Verhältnis zwischen Temperaturdifferenz und der Zuluftgeschwindigkeit zu bestimmen (in der Strahltheorie durch die archimedische Zahl ausgedrückt). Wenn neben der Veranschaulichung der Strahlströmung von den Durchlässen eine detailliertere, diesen Faktor enthaltende Berechnung von Zuluftgeschwindigkeiten benötigt wird, empfehlen wir Ihnen das Programm DIM*comfort*.

Die unten dargestellte allgemeine Regel für die waagerechte und senkrechte Zufuhr von Kühl- oder Warmluft kann aber für die Korrektur der Wurfweite in einer einfacheren Berechnung verwendet werden.

Waagerechte Zuluft an der Decke

1. Wenn Luft waagerecht mit Kühllast zugeführt wird, verkürzt sich die Wurfweite bei deckenbündigem Einbau um 1,5 % pro Grad, während die senkrechte Streubreite b_v sich erhöht.

2. Wenn Warmluft waagerecht zugeführt wird, verlängert sich die Wurfweite bei deckenbündigem Einbau um 2 % pro Grad.



Von der Decke senkrecht zugeführte Luft

Die Wurfweite für senkrecht zugeführte Luft gilt auch für isotherme Bedingungen.

1. Wenn Luft mit einer Kühllast zugeführt wird, verlängert sich die Wurfweite. Die Wurfweite wird verdoppelt bei Δt = -10 °C.

2. Wenn Warmluft zugeführt wird, verringert sich die Wurfweite. Die Wurfweite wird halbiert bei Δt = 10 °C.

Für Produkte, die für senkrecht zugeführte Luft eingerichtet werden können, gibt es neben den anderen Produktdaten auch separate Wendepunktdiagramme für Warmluft (Δt = +5 K, +10 K und möglicherweise +15 K) für Wendepunkt $l_{0,0}$.

Gegeneinander gerichtete Zuluftdurchlässe

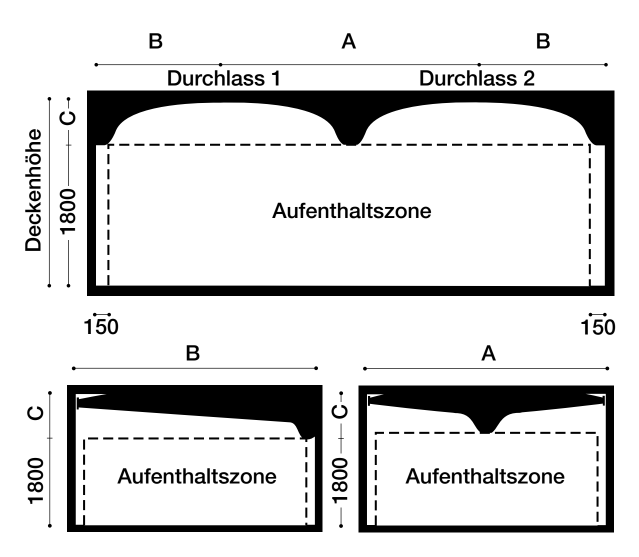


Abb. 1: Gegeneinander gerichtete Zuluftdurchlässe

Um Geschwindigkeiten von mehr als 0,2 m/s im Aufenthaltsbereich zu vermeiden, müssen die Durchlässe so bemessen werden, dass die Wurfweite $l_{0,2}$ im richtigen Verhältnis zu den Abständen A, B und C steht *(Abbildung 1)*. Bei zwei gegeneinander gerichteten Durchlässen ist die folgende Formel zu berücksichtigen:

$$0{,}75 \times \left(\frac{A}{2} + C\right) \leq l_{0,2} \leq \left(\frac{A}{2}\right) + C$$

Bei einem Durchlass, der gegen eine Wand bläst, muss die folgende Formel berücksichtigt werden:
$0{,}75 \times (B + C) \leq l_{0,2} \leq B + C$

Wenn zwei oder mehrere Durchlässe mit parallel gerichteter Zuluft (1- oder 2-seitig ausblasend) mit einem Abstand A zueinander angeordnet werden sollen, der geringer ist als b_h, verlängert sich die Wurfweite nach der folgenden Formel: $l_{0,2}$ (korrigiert) = K × $l_{0,2}$.
Dabei ist der Korrekturfaktor K abzulesen aus Abbildung 2.

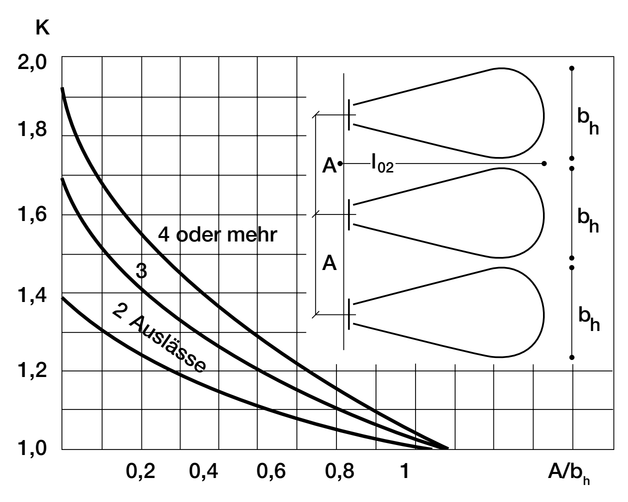


Abb. 2: Parallel gerichtete Zuluftdurchlässe

Planung der Mischlüftung

Auftrieb oder Abfall nicht-isothermer Zuluft

Für Düsen, abgehängte Durchlässe oder Gitter, bei denen Luft einseitig, waagerecht zugeführt wird, steigt oder fällt der Strahl durch das Erwärmen oder Abkühlen der Zuluft. Dies lässt sich ablesen in *Abbildung 3*.

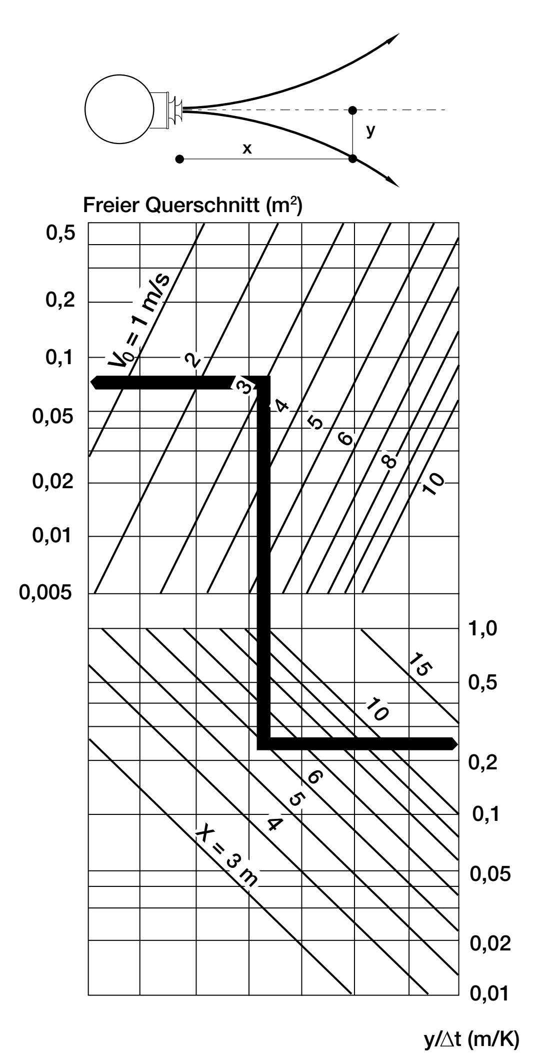


Abbildung 3: Nicht-isotherme Zuluft

Beispiel

Vo = 3,0 m/s	Ausblasgeschwindigkeit
F = 0,075 m²	freier Querschnitt
Δt = - 5 K	Temperaturdifferenz

Gesucht:
Strahlablenkungen in 6 m Entfernung vom Durchlass.

Lösung:
Ziehe eine Linie vom freien Querschnitt F = 0,075 m² zur Austrittsgeschwindigkeit Vo = 3,0 m/s
Fälle ein Lot vom Schnittpunkt dieser Linie zur Entfernung vom Durchlass x = 6 m.

Lese den Wert y/Δt (m/K) in der Höhe des Schnittpunktes von Lot und Linie x = 6 m ab
y/Δt (m/K) = 0,25

Δt ist im Beispiel mit -5 K gegeben:
Y = - 5K × 0,25 m/K = -1,25 m

Der Luftstrahl erfährt im Abstand von 6 m eine Ablenkung von -1,25 m bei einen Δt von -5K.

Deckenhindernisse

Um zu vermeiden, dass die Strahlströmung durch mögliche Hindernisse abgelenkt wird, sind die Mindestabstände einzuhalten.

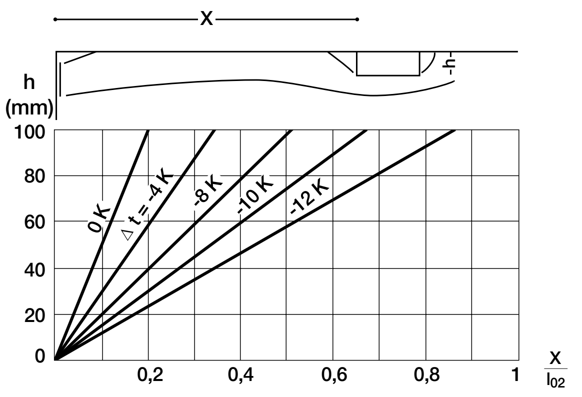


Abbildung 3a: Wurfweite $l_{0,2}$ für Durchlässe

Bei Hindernissen an der Decke (z. B. Lampen) sind die Mindestwerte für die Abstände Durchlass/Widerstand vorstehender Abbildung zu entnehmen, um eine Ablenkung der Strahlen von der Decke auszuschließen.



Planung der Mischlüftung

Raumströmungen

Die berechnete maximale Geschwindigkeit v_{term} im Aufenthaltsbereich, die durch Wärmeströme entsteht, ist in *Abbildung 4 dargestellt*. Diese Ströme hängen von der Wärmebelastung im Raum (W/m²) und der Verteilung der Zuluft ab (Anzahl der Durchlässe und Strahlausbreitung), aber nicht vom Impuls der Zuluft. Darüber hinaus hängt die Geschwindigkeit von der Deckenhöhe ab. Die Bestimmung der maximalen Geschwindigkeit im Aufenthaltsbereich erfolgt anhand eines empirischen Modells auf Grundlage der Wärmebelastung (W/m²), der Anzahl der Durchlässe (W/Durchlass) und der Strahlausbreitung (1-, 2-, 3-, 4-seitig) bei einer Deckenhöhe von 2,5 m.
Wenn Unsicherheiten in Bezug auf ein Projekt auftreten oder besondere Bedingungen untersucht werden müssen, bietet Lindab an, die Bedingungen mit einer Prüfung im Maßstab 1:1 zu testen. Sie ist bei größeren und komplexeren baulichen Aufgaben oft sehr wertvoll.

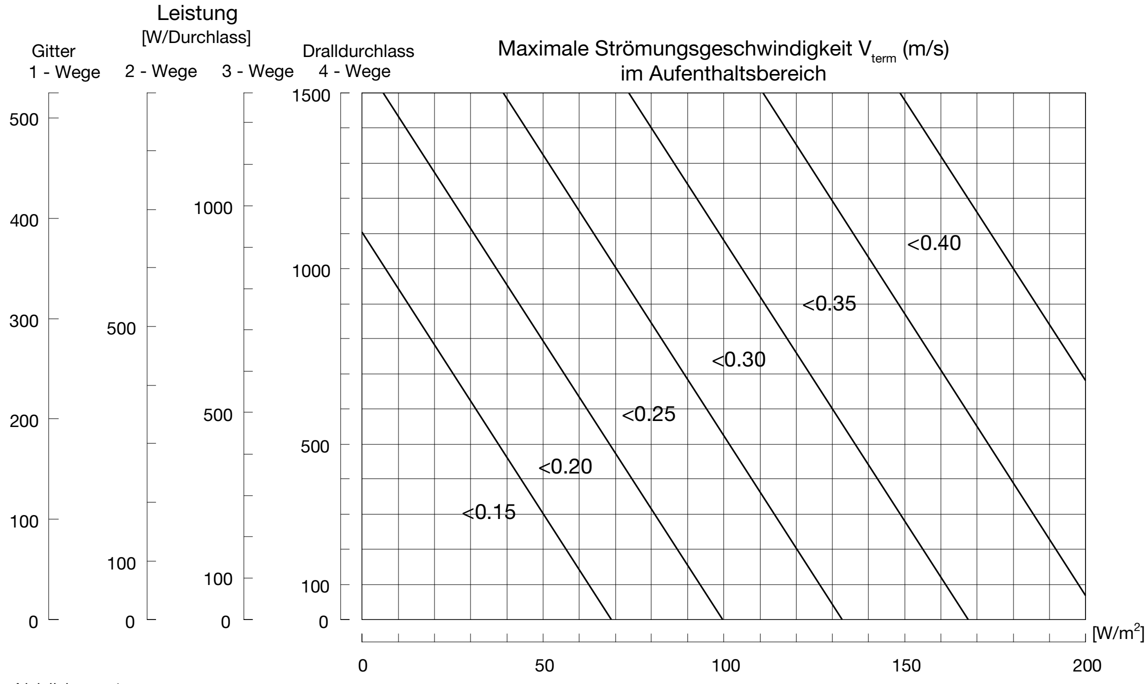


Abbildung 4 a:
Maximale thermische Geschwindigkeit im Aufenthaltsbereich. Das Diagramm dient zur Beratung und gilt für Deckenhöhen von 2,5 m.

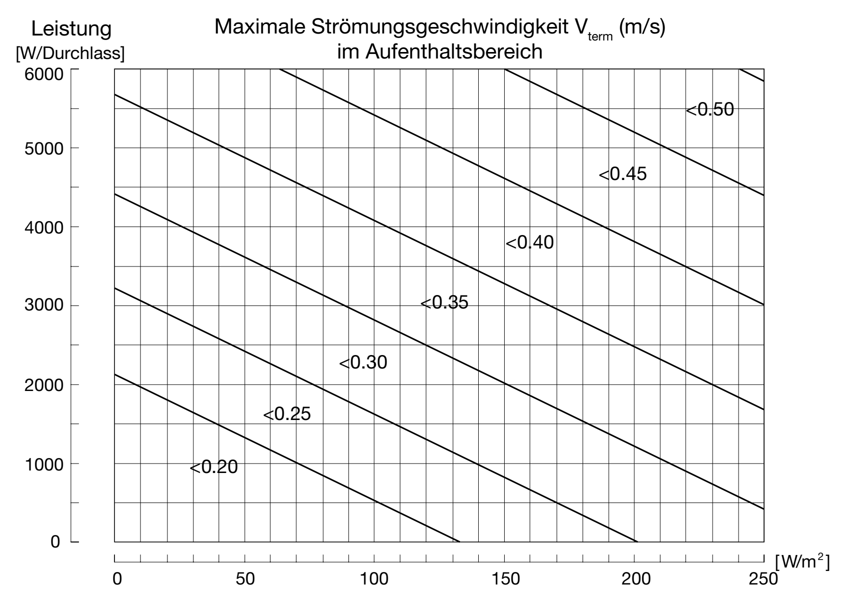


Abbildung 4 b: Maximale thermische Geschwindigkeit im Aufenthaltsbereich.
Das Diagramm dient zur Beratung und gilt für Deckenhöhen > 4 m.

Planung der Mischlüftung

Berechnungsbeispiel

Raum: L × B × H = 10 m × 6 m × 4 m

Thermische Belastung:
10 Personen, sitzend aktiv (10 × 130 W) = 1300 W (22 W/m^2)
10 Tischlampen mit jeweils 60 W (10 × 60 W) = 600 W (10 W/m^2)
10 Rechner mit jeweils 100 W (10 × 100 W) = 1000 W (17 W/m^2)

Summe = 2900 W (48 W/m^2)

Um eine zufriedenstellende Luftqualität im Raum zu erzielen, legen die üblichen Berechnungen für die Luftmenge eine Zuluft von 4-10 l/s pro Person zuzüglich 0,4 l/s pro m^2 Bodenfläche fest. Wenn 10 l/s eingesetzt werden, kann die notwendige Luftmenge folgendermaßen berechnet werden:

q_{min} = 10 Personen × 10 l/s pro Person + 60 m^2 × 0,4 l/s pro m^2 = 124 l/s

Wenn die Luftmenge gleichzeitig die gesamte Kühllast aus dem Raum entfernen muss, ist eine Temperaturdifferenz von Δt zwischen der Zuluft und der Raum-/Abluft erforderlich. Δt kann folgendermaßen bestimmt werden:

$$\Delta t = \frac{2900\ \text{W}}{\frac{124\ \text{l/s}}{1000\ \text{l/m}^3} \times 1{,}2\ \text{kg/m}^3 \times 1007\ \text{J/kg/K}} = 19{,}4\ \text{K}$$

Da eine Temperaturdifferenz von fast 20 K sehr wahrscheinlich zu Unbehagen führt, z. B. durch abfallende Luft aus einem Deckendurchlass, wird empfohlen, die Luftmenge zu erhöhen und eine geringere Temperaturdifferenz zu wählen. Wenn Δt = 6 K gewählt wird, kann die Luftmenge folgendermaßen bestimmt werden:

$$q = \frac{2900\ \text{W}}{6\ \text{K} \times 1{,}2\ \text{kg/m}^3 \times 1007\ \text{J/kg/K}} \times 1000\ \text{l/m}^3 = 400\ \text{l/s}$$

Planung der Verdrängungslüftung

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Verdrängungslüftung

Eine Verdrängungsauslass soll eine bestimmte Luftmenge zuführen, um den Raum ordnungsgemäß zu lüften und gleichzeitig die Anforderungen an Schallpegel, Luftgeschwindigkeit und Temperaturgradienten im Aufenthaltsbereich erfüllen. Damit diese Anforderungen erfüllt werden, sind Planungsrichtlinien erforderlich. Die wichtigsten sind im Folgenden angegeben. Bei der Auswahl eines Luftauslasses sollten die Anforderungen im Zusammenhang mit Druckverlust, Schallpegel und Wurfweite verdeutlicht werden. Diese Daten werden für jedes einzelne Produkt berechnet. Die Auswahl- und Leistungsdaten im Lindab Katalog sind Ergebnisse von Messungen, die im Labor von Lindab mit modernen und genauen Messgeräten vorgenommen wurden. In der Praxis sind die Bedingungen selten so ideal wie in einem Labor, da die bauliche Umgebung, die Möblierung, die Anordnung der Luftauslässe u. a. die Streubreite des Strahlbilds erheblich beeinflussen. Lindab versucht, die Bedingungen in der Praxis mit Prüfungen im Maßstab 1:1 zu testen. Dies ist bei größeren und komplizierteren Projekten oft sehr nützlich.

Bezeichnungen

$a_{0,2}$	Breite des Nahbereichs	[m]
$b_{0,2}$	Länge des Nahbereichs	[m]
ε_t	Thermischer Wirkungsgrad	[-]
K_{ok}	Korrekturfaktor für Schallleistungspegel	[dB]
L_A	Schalldruckpegel, A-bewertet	[dB(A)]
L_{WA}	Schallleistungspegel, A-bewertet	[dB(A)]
L_{Wok}	Schallleistungspegel im Oktavband	[dB]
L_p	Schalldruckpegel	[dB]
L_w	Schallleistungspegel	[dB]
ΔL	Eigendämpfung	[dB]
D	Raumdämpfung	[dB]
Δp_t	Gesamtdruckverlust	[Pa]
q	Volumenstrom	[m³/h], [l/s]
t_i	Zulufttemperatur	[°C]
t_r	Raumtemperatur (1,1 m über dem Boden)	[°C]
t_u	Ablufttemperatur	[°C]
Δt	Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Zuluft	[K]
v_x	Geschwindigkeit bei Entfernung x von der Mitte des Auslasses	[m/s]

Senkrechte Temperaturverteilung

Wegen der Strömung mit Schichtenbildung bringt die Verdrängungslüftung eine große Temperaturdifferenz im gesamten Raum mit sich. Bei der Komfortlüftung, bei der die Wärmequellen im unteren Teil des Raumes angeordnet werden, ist der Temperaturgradient, also der Temperaturanstieg pro m (K/m), im unteren Teil des Raumes größer, im oberen Teil kleiner.

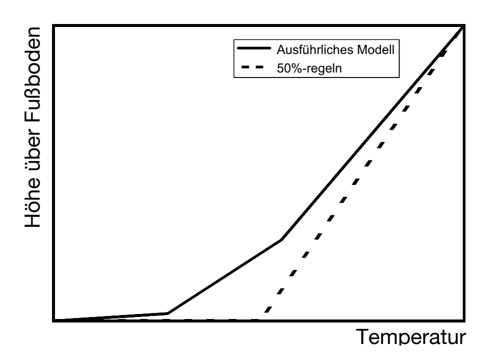


Abbildung 5: Vergleich von Modellen für die Beschreibung der senkrechten Temperaturverteilung

Die einfachsten Modelle für die Beschreibung der senkrechten Temperaturverteilung sind die sogenannten „Prozentregeln".
Die am häufigsten verwendete Regel ist die 50-Prozent-Regel. Bei ihr wird angenommen, dass die Hälfte des Temperaturanstiegs von Zuluft zu Abluft am Boden stattfindet, die andere Hälfte oberhalb im gesamten Raum *(siehe Abbildung 5)*. Dieses Modell ist gut geeignet für eine erste Auswertung der typischsten Räume und Auslässe, aber aufgrund seiner Einfachheit bietet es nicht die angemessene Genauigkeit, um den Temperaturgradienten im Aufenthaltsbereich zu bestimmen.
Lindab empfiehlt den Einsatz eines detaillierteren Modells, das beschreibt, wie der Temperaturgradient von unten nach oben im Raum variiert. Eine Annahme für einen Näherungswert geht davon aus, dass der Temperaturgradient im Aufenthaltsbereich die Hälfte der Temperaturdifferenz zwischen der Raumluft und der Zuluft beträgt. Das Modell basiert auf einer Reihe von Prüfungen im Maßstab 1:1, Faktoren beim thermischen Wirkungsgrad und der Tatsache, dass der Temperaturgradient im unteren Teil des Raums höher als im oberen Teil ist.

Thermischer Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad bei der Verdrängungslüftung ist auf eine größere Schichtenbildung als bei der Mischlüftung zurückzuführen. Der Unterschied vergrößert sich bei höheren Decken. Die aus dem Raum abgeführte Leistung ist ungefähr proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abluft (t_u-t_i).
Da bei der Verdrängungslüftung die Ablufttemperatur (t_u) höher als die Raumtemperatur ist (t_r), kann mit einer höheren Zulufttemperatur (t_i) als bei der Mischlüftung dieselbe Leistung aus dem Raum abgeführt werden; bei der Mischlüftung gilt $t_u \leq t_r$. Dies bedeutet, dass Kühlleistung eingespart werden kann oder dass es möglich ist, die Kühllast der Außenluft wirksamer einzusetzen.
Die Verdrängungslüftung ist außerdem bei wechselnden thermischen Belastungen zum Teil selbstregulierend, da eine steigende Belastung zuallererst zu einem höheren Temperaturgradienten und damit einer höheren Temperatur an der Decke führt.
Der thermische Wirkungsgrad ist angegeben mit:

$$\varepsilon_t = \frac{t_u - t_i}{t_r - t_i} \times 100\%$$

Bei der Verdrängungslüftung gilt $\boldsymbol{\varepsilon_t} > 100$ % ($t_u \geq t_r$), im Gegensatz zu $\boldsymbol{\varepsilon_t} \leq 100$ % bei der Mischlüftung ($t_u \leq t_r$). Insgesamt gilt bei der Mischlüftung $\boldsymbol{\varepsilon_t} = 100$ % ($t_u = t_r$).

Druckverlust

Die Diagramme zeigen den Gesamtdruckverlust (bei $\rho = 1{,}2$ kg/m³), d. h. die Summe des statischen und dynamischen Druckes bezogen auf einen Auslass (ggf. mit Anschlusskasten) bei Anschluss an einen geraden Luftkanal mit einer Länge von 1 m und den gleichen Dimensionen wie der Auslass.

Schallpegel

Die Diagramme zeigen den A-bewerteten Schallleistungspegel L_{WA} bezogen auf den Auslass (ggf. mit Anschlusskasten) bei Anschluss an einen geraden Luftkanal mit einer Länge von 1 m und den gleichen Dimensionen wie der Auslass.
Der Schalldruckpegel ist ein Maß für die wahrgenommenen Druckvibrationen, während der Schallleistungspegel einen Parameter zur Charakterisierung der Schallquelle darstellt. Beide werden normalerweise in der Einheit dB (Dezibel) angegeben.

Planung der Verdrängungslüftung

Schalldruckpegel (Lp)
Ein Maß für die Schallimmission, die vom Ohr wahrgenommen oder mit einem Mikrofon gemessen werden kann. Der Schalldruck ist abhängig vom Abstand zur Schallquelle und vom umgebenenden Raum. Er wird in Pascal (Pa) gemessen und gewöhnlich als Schalldruckpegel in Dezibel (dB) oder dB(A) angegeben.

Schallleistungspegel (Lw)
Die Leistung, die eine Schallquelle (z. B. eine Maschine) in Form von Schallenergie abgibt. Die Schallleistung wird in Watt (W) gemessen und gewöhnlich als Schallleistungspegel in Dezibel (dB) oder dB(A) angegeben.

Im Katalog von Lindab sind die Schalleigenschaften der Luftauslässe als Schallleistungspegel angegeben.

Schallleistungspegel: $L_W = 10 \times \log \frac{N}{N_{re}}$ [dB]

Dabei ist N die eigentliche Schallleistung [W], die in Form von Druckschwankungen an die Luft abgegeben wird, und $N_{re} = 10^{-12}$ W ist der Bezugswert für die Schallleistung.

Schalldruckpegel: $L_P = 20 \times \log \frac{P}{P_{re}}$ [dB]

Dabei ist P der eigentliche Schalldruck [N/m²], und $P_{re} = 2 \times 10^{-5}$ N/m² ist der Referenzwert für den Schalldruck.
Raumdämpfung D [dB] ist die Differenz zwischen dem Schallleistungspegel und dem Schalldruckpegel,
$L_{wok} = L_W - D$

Der A-bewertete Schallleistungspegel, L_{WA}, wird folgendermaßen in den Schallleistungspegel in den einzelnen Oktavbändern umgerechnet: $L_{wok} = L_{WA} + K_{ok}$, K_{ok} ist ein Korrekturwert. K_{ok} ist für die jeweilige Einheit in einer Tabelle angegeben.

Eigendämpfung

Die Schalldämpfung wird für jeden einzelnen Auslass angegeben und bezieht sich auf die Verringerung des Schallleistungspegels zwischen Luftkanal und Raum (einschließlich Mündungsreflexion).

Nahbereich

Der Bereich um den Auslass, in dem die Luftgeschwindigkeit über 0,2 m/s liegt, wird als Nahbereich bezeichnet.
Die Größe des Nahbereichs wird für jeden Luftauslass bei einer Temperaturdifferenz von $\Delta t = t_r - t_i = 3K$ angegeben. Die Länge (a_0) und die Breite (b_0) des Nahbereichs gelten für gleichmäßig verteilte thermische Belastungen.

Planung der Verdrängungslüftung

Die Planung eines Lüftungssystems nach dem Verdrängungsprinzip, das auf der Grundlage von Wärmekräften „arbeitet" und bei dem die Luft direkt dem Aufenthaltsbereich zugeführt wird, stellt besondere Anforderungen an die Dimensionierung und Anordnung der Luftdurchlässe. Sie sollten im Grunde genommen nie neben einer leistungsstarken Wärmequelle, z. B. einen Heizkörper, platziert werden. Starke Sonneneinstrahlung kann sich ebenfalls störend auf das System auswirken und in einigen Fällen dazu führen, dass es als ein Mischventilationssystem arbeitet. Große, kalte Wand- oder Fensterflächen im Raum können außerdem dazu führen, dass verunreinigte Luft in den Aufenthaltsbereich zurückströmt.

Das System kann nicht zur Heizung eingesetzt werden, daher müssen Heizung und Lüftung getrennt werden. Die Entnahme sollte immer so hoch wie möglich im Raum erfolgen.
Wenn Unsicherheiten in Bezug auf ein Projekt auftreten oder Punkte analysiert werden müssen, bietet Lindab an, die Bedingungen mit Prüfungen im Maßstab 1:1 in der Praxis zu testen. Sie sind bei größeren und komplizierteren Aufgaben oft sehr wertvoll.

Konvektionsströmung

Die Zuluftströmung sollte mindestens der gesamten Konvektionsströmung im Raum entsprechen *(Abbildung 6)*. Wenn die Zuluftströmung niedriger ist, zieht die Konvektionsströmung verunreinigte Luft von oben in den Aufenthaltsbereich herunter *(Abbildung 7)*.
Die folgenden Faktoren beeinflussen die Konvektionsströmung:

- Form und Oberfläche der Wärmequelle
- Oberflächentemperatur der Wärmequelle
- Konvektiver Anteil der abgegebenen Wärmeleistung
- Mittlere Temperatur des Raumes
- Höhe der verunreinigten Zone im Verhältnis zur Höhe der Wärmequellen im Raum

Die Konvektionsströmung von Personen, Beleuchtung und Maschinen kann anhand der Leistung und der Anordnung der Wärmequellen im Raum bestimmt werden *(siehe Tabelle 1 und Tabelle 2)*.

Tabelle 1:
Erfahrungsmäßige Konvektionsströmungen für Menschen

Aktivität	M met	W/Pers.	Volumenstrom l/s 1,2 m ü.B.	Volumenstrom l/s 1,8 m ü.B.
Sitzend, ruhig	**1,0**	**100**	**8-10**	**-**
Sitzend, aktiv	**1,2**	**130**	**10-12**	**-**
Stehend, leicht Akt.	**1,6**	**170**	**-**	**25-30**
Stehend, mittlere Akt.	**2,0**	**200**	**-**	**30-35**
Stehend, hohe Akt.	**3,0**	**300**	**-**	**35-40**

Met: Metabolismus, 1 met = 58 W/m2 Körperoberfläche.

Tabelle 2:
Konvektionsströmungen für verschiedene Wärmequellen.

Wärmequelle	Volumenstrom l/s/W 1,2 m ü.B.	Volumenstrom l/s/W 1,8 m ü.B.
Tischlampen	**0,10**	**0,20**
Deckenbeleuchtung	**-**	**-**
Maschinen	**0,10**	**0,20**
Sonnenstrahlung	**0,11**	**0,22**

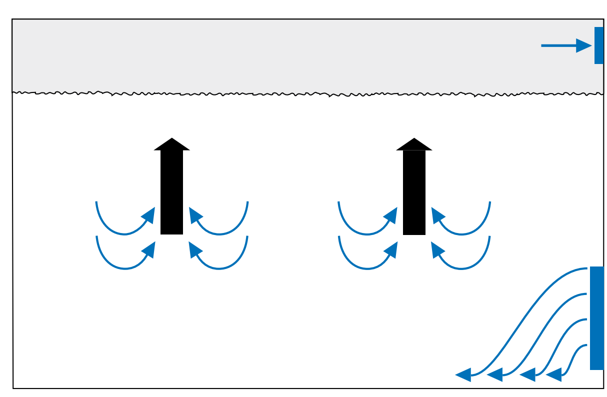


Abb. 6: Verdrängungslüftung mit ausreichender Luftströmung.

Planung der Verdrängungslüftung

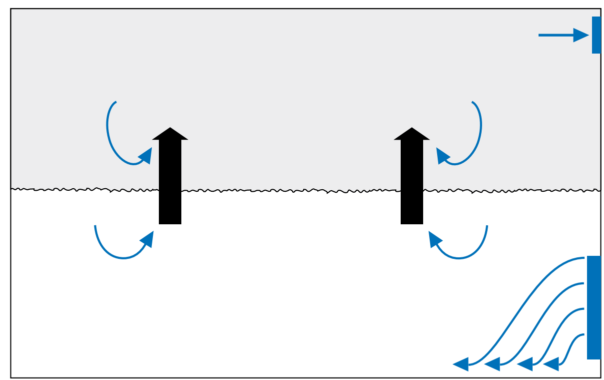


Abb. 7: Verdrängungslüftung mit nicht ausreichender Luftströmung.

Temperaturgradient

Die Anforderungen an thermischen Komfort im Aufenthaltsbereich beschränken die Größe des Temperaturgradienten. *In Tabelle 3* ist der von Lindab*Comfort* empfohlene maximale Gradient bei verschiedenen Aktivitätsniveaus angegeben. Außerdem ist die entsprechende maximale Temperaturdifferenz (t_r-t_i) beim Einsatz von Lindab COMDIF-Auslässen genannt. Der Temperaturgradient im Aufenthaltsbereich (K/m) kann mit einem kleinen Spielraum auf die Hälfte der Temperaturdifferenz t_r-t_i (K) festgelegt werden.

Tabelle 3: empfohlene Temperaturgradienten und -differenzen.

Aktivität	Maximaler Temperatur gradient (°C/m)	Maximale Untertemperatur t_r-t_i (°C)
Sitzend, ruhig	1,5	3,0
Sitzend, aktiv	2,0	4,0
Stehend, leichte Akt.	2,5	5,0
Stehend, mittlere Akt.	3,0	6,0
Stehend, hohe Akt.	3,5	7,0

Nahbereich

Die Größe des Nahbereichs wird für jeden Luftauslass im Katalog angegeben.

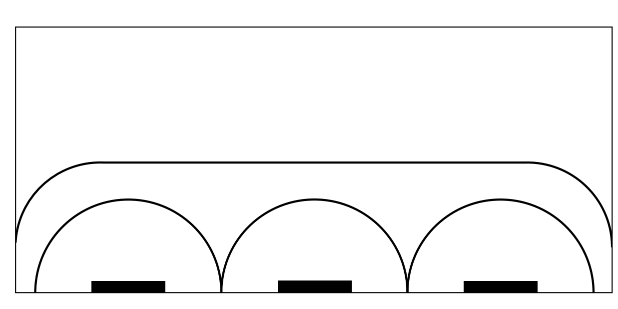


Abb. 8: Auslässe zu dicht platziert, eingeschränkte Induktion.

Eine starke Luftströmung aus einem Auslass kann zu einem zu großen Nahbereich führen *(Abbildung 9)*. Wenn die Luft stattdessen über zwei Auslässe verteilt wird, führt dies zu kleineren Nahbereichen *(Abbildung 10)*.
Um so kleine Nahbereiche wie möglich zu erhalten und so den Raum bestmöglich zu nutzen, sollte die Luftströmung mit so vielen Auslässen wie möglich gleichmäßig im Raum verteilt werden.

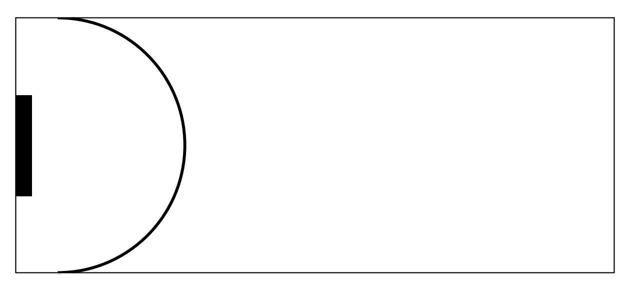


Abb. 9: zu starke Luftströmung aus einem Auslass führt zu einem zu großen Nahbereich



Abb. 10: geringer Volumenstrom pro Auslass, kleiner Nahbereich

Mehrere Auslässe nebeneinander

Werden mehrere Auslässe dicht nebeneinander platziert, wird der Nahbereich erheblich vergrößert (Abb. 8), da sich zwischen den Auslässen Strahlströmungen bilden können. In einer bestimmten Entfernung von den Auslässen bildet sich hingegen eine kontinuierliche Strahlströmung mit einer nahezu gleichmäßigen Geschwindigkeit. Diese Endgeschwindigkeit hängt von dem gesamten Luftvolumenstrom pro Wandmeter und der Temperaturdifferenz ab. In *Abb. 11* kann diese Endgeschwindigkeit abgelesen werden.

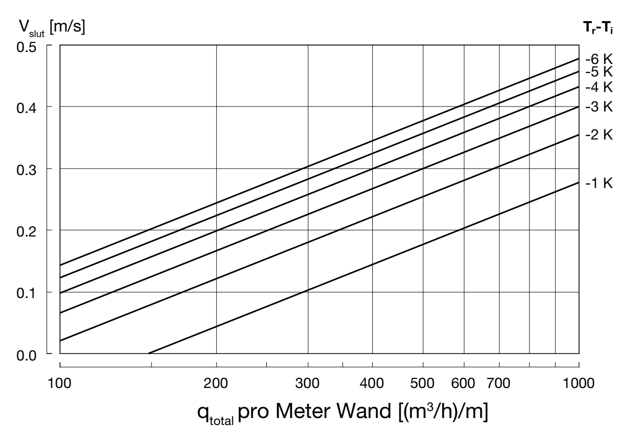


Abb. 11: Endgeschwindigkeit bei kontinuierlicher Strahlströmung

Planung der Verdrängungslüftung

Abgeführte Kühllast

Um die abgegebene Kühllast zu berechnen, die durch ein Verdrängungssystem aus dem Raum abgeführt werden kann, muss die Temperaturdifferenz t_u-t_i bekannt sein (abhängig von der thermischen Belastung, der Deckenhöhe und der Temperaturdifferenz (t_r-t_i)). Für die Berechnung des thermischen Wirkungsgrades und der notwendigen Temperaturdifferenz t_u-t_i werden bei Wärmequellen im Deckenbereich (z.B. Beleuchtung) 50 % der abgegebenen Leistung berücksichtigt.
Aus *Abb. 12* kann der thermische Wirkungsgrad ε_t für verschiedene Kombinationen aus Deckenhöhe und Wärmelast abgelesen werden.

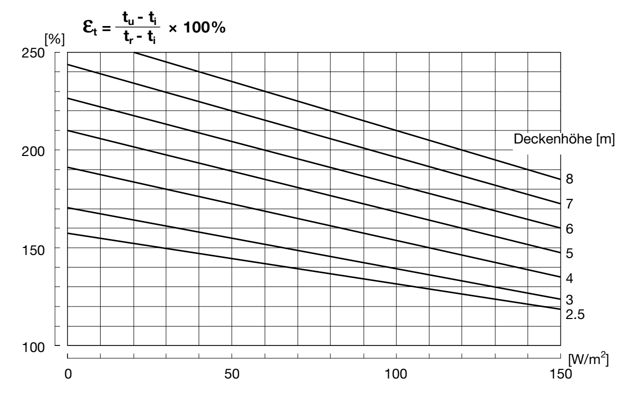


Abbildung 12: thermischer Wirkungsgrad.

Berechnungsbeispiel

Raum: L × B × H = 10 m × 6 m × 4 m

Thermische Belastung:
10 Personen, sitzend aktiv (10 × 130 W) = 1300 W (22 W/m²)
10 Tischlampen mit jeweils 60 W (10 × 60 W) = 600 W (10 W/m²)
10 Rechner mit jeweils 100 W (10 × 100 W) = 1000 W (17 W/m²)

Summe = 2900 W (48 W/m²)

Mindestluftvolumenstrom *(aus Tabelle 1 und Tabelle 2)*:
q_{min} = 10 Pers. × 11 l/s/Pers. + 10 Tischlampen × 60 W/Tischlampen × 0,1 l/s/W + 10 Rechner × 100 W/Rechner × 0,1 l/s/W = 270 l/s
Erforderliche Temperaturdifferenz (t_u-t_i):

$$t_u - t_i = \frac{2900\ \text{W}}{\frac{270\ \text{l/s}}{1000\ \text{l/m}^3} \times 1{,}2\ \text{kg/m}^3 \times 1007\ \text{J/kg/K}} = 8{,}9\ \text{K}$$

Aus *Abb. 12* kann der thermische Wirkungsgrad abgelesen werden mit ε_t = 178 % bei einer Deckenhöhe von 4 m und einer Wärmebelastung von 48 W/m². Infolgedessen kann die Temperaturdifferenz t_r-t_i mit der folgenden Formel bestimmt werden:

$$\varepsilon_t = \frac{t_u - t_i}{t_r - t_i} \iff t_r - t_i = \frac{t_u - t_i}{\varepsilon_t} = \frac{8{,}9\ \text{K}}{1{,}78} = 5\ \text{K}$$

Dies ergibt im Aufenthaltsbereich einen Temperaturgradienten von 2,5 K/m (da der Temperaturgradient im Aufenthaltsbereich auf die Hälfte der Kühllast t_r-t_i festgelegt werden kann). Lindab empfiehlt einen Temperaturgradienten von <2 K/m, daher sollte der Volumenstrom erhöht werden.
Ein Temperaturgradient von 2 K/m ergibt t_r-t_i = 4 K, und bei einem unveränderten thermischen Wirkungsgrad von 178 % beträgt die akzeptable Temperaturdifferenz t_u-t_i = 7,1 K.
Um die thermische Belastung von 2900 W zu entfernen, muss der Volumenstrom auf folgenden Wert erhöht werden:

$$q = \frac{2900\ \text{W}}{7{,}1\ \text{K} \times 1{,}2\ \text{kg/m}^3 \times 1007\ \text{J/kg/K}} \times 1000\ \text{l/m}^3 = 337\ \text{l/s}$$

Planung von Schallpegeln

Planung von Schallpegeln

Die Diagramme im Katalog benennen den A-bewerteten Schallleistungspegel L_{WA} für Anschlüsse, die an einen geraden Kanal mit einer Länge von 1 m und der gleichen Dimension wie der Durchlass angeschlossen sind.
Der eigentliche Schalldruckpegel, den wir hören, wird wie unten dargestellt bestimmt.

Bezeichnungen

A	Totale Raumabsorption	[m²]
K_{ok}	Korrekturfaktor für Schallleistungspegel	[dB]
L_A	Schalldruckpegel, A-bewertet	[dB(A)]
L_{WA}	Schallleistungspegel, A-bewertet	[dB(A)]
L_{Wok}	Schallleistungspegel im Oktavband	[dB]
L_p	Schalldruckpegel	[dB]
D	Raumdämpfung	[dB]
L_w	Schallleistungspegel	[dB]
V	Raumvolumen	[m²]
T_s	Nachhallzeit	[-]
D	Raumdämpfung	[dB]
Q	Richtungsfaktor	[-]
Δ	Anstieg des Schallleistungspegels bei einer gegebenen Anzahl von identischen Durchlässen	[dB]
r	Abstand zum nächsten Durchlass	[m]
α	Absorptionsfaktor	[-]
n	Anzahl der Durchlässe	[-]

Schalldruckpegel

Die gesamte Schallleistung L_W einer Anzahl von ähnlichen Durchlässen wird ermittelt durch eine logarithmische Multiplikation der Anzahl der Durchlässe mit dem Schallleistungspegel eines einzelnen Durchlasses,
$L_W = L_{W1} \otimes n$.
Dabei ist L_{w1} der Schallleistungspegel eines einzelnen Durchlasses [dB] und n die Anzahl der Durchlässe.
Die gesamte Schallleistung kann mit Hilfe von *Abb. 13* berechnet werden als $L_W = L_{W1} + \Delta$, wobei Δ den Anstieg des Schallleistungspegels für eine bestimmte Anzahl von identischen Durchlässen bezeichnet.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Δ	0	3.0	4.8	6.0	7.0	7.8	8.5	9.0	9.0	10.0	11.8

Abb. 13: Anstieg des Schallleistungspegels (logarithmische Multi plikation) durch eine Anzahl von identischen Schallquellen

Sind die Schallquellen und der Absorptionsbereich des Raumes bekannt, wird die Raumdämpfung durch *Abbildung 14*, *Abbildung 15 und Abb. 16* bei einer oder mehreren identischen Schallquellen im Raum bestimmt.
Der eigentliche Schalldruckpegel ist die Differenz zwischen dem Schallleistungspegel und der Raumdämpfung, wobei L_p der Schalldruckpegel [dB] ist, L_W der Schallleistungspegel [dB] und D die Raumdämpfung [dB].
Bei verschiedenen Schallquellen im selben Raum wird der Schalldruckpegel an einem bestimmten Punkt durch eine logarithmische Addition der Schalldruckpegel für die einzelnen Schallquellen ermittelt (Abb. 17).

A kann auch mit der folgenden Formel aus der Nachhallzeit berechnet werden:

$$A = 0.16 \times \frac{V}{T_s}$$

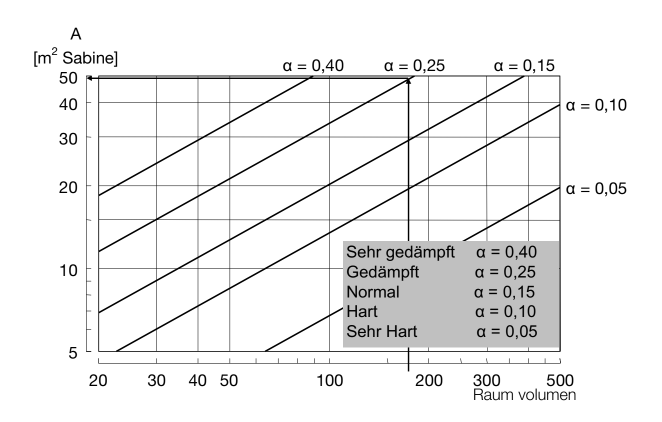


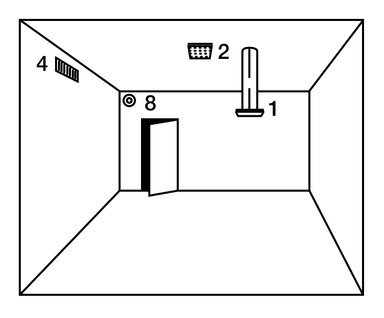
Abb. 14: Verhältnis zwischen dem Raumvolumen und der gleichwertigen Schallabsorptionsfläche

Berechnungsbeispiel

In einem Raum mit den Abmessungen L × B × H = 10 m x 7 m x 2,5 m sind vier Durchlässe in die Decke eingebaut. Jeder Durchlass gibt einen Schallleistungspegel von 29 dB(A) ab. Der Raum ist gedämpft, was einen Absorptionsbereich von A ~ 50 m² SABINE ergibt *(Abbildung 14)*. Wie hoch ist der Schalldruckpegel 1,5 m über dem Boden.
Schallleistung der vier Durchlässe: $L_W = 29 \otimes 4 = 29 + 6 = 35$ dB(A) *(Abbildung 13)*.
Für Deckendurchlässe ist der Richtungsfaktor Q = 2 und wird folglich *(Abbildung 15)*.

$\sqrt{n} / \sqrt{Q} = 1{,}4$

In der Höhe von 1,5 m über dem Boden beträgt der Abstand zum nächsten Durchlass r = 1 m, und daher kann für die Raumdämpfung D = 9 dB ermittelt werden - siehe *Abbildung 16*.
Der Schalldruckpegel im Raum: L_A = 35 dB(A) - 9 dB = 26 dB(A).



n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Q					√n / √Q						
1	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.9
2	0.7	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.2	2.7
4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.9
8	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.4

Abb. 15: Richtungsfaktor für die unterschiedliche Anordnung von Schallquellen und das Verhältnis zwischen √n / √Q als eine Funktion der Anzahl der Schallquellen und des Richtungsfaktors (Bild)



Planung von Schallpegeln

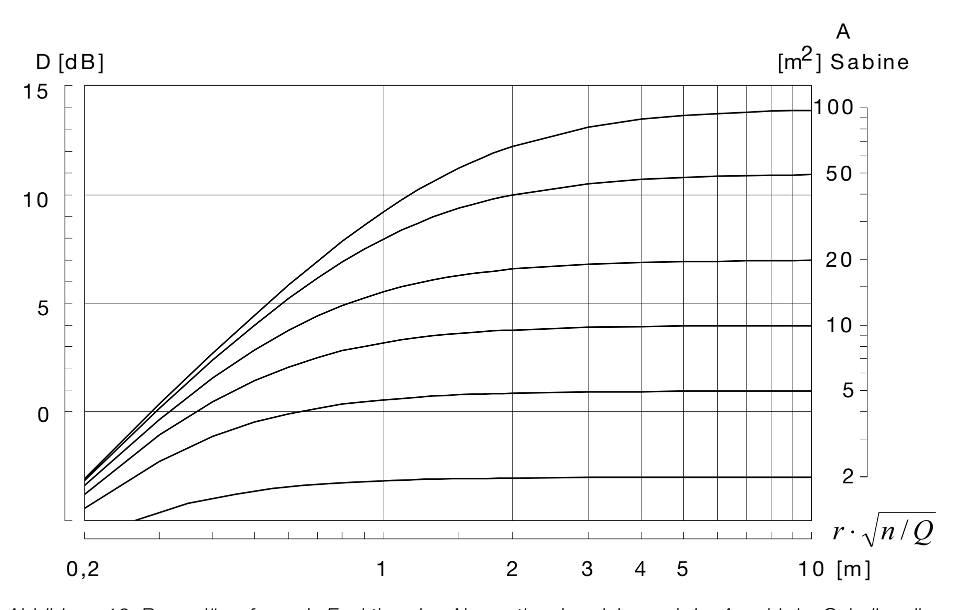


Abbildung 16: Raumdämpfung als Funktion des Absorptionsbereichs und der Anzahl der Schallquellen.

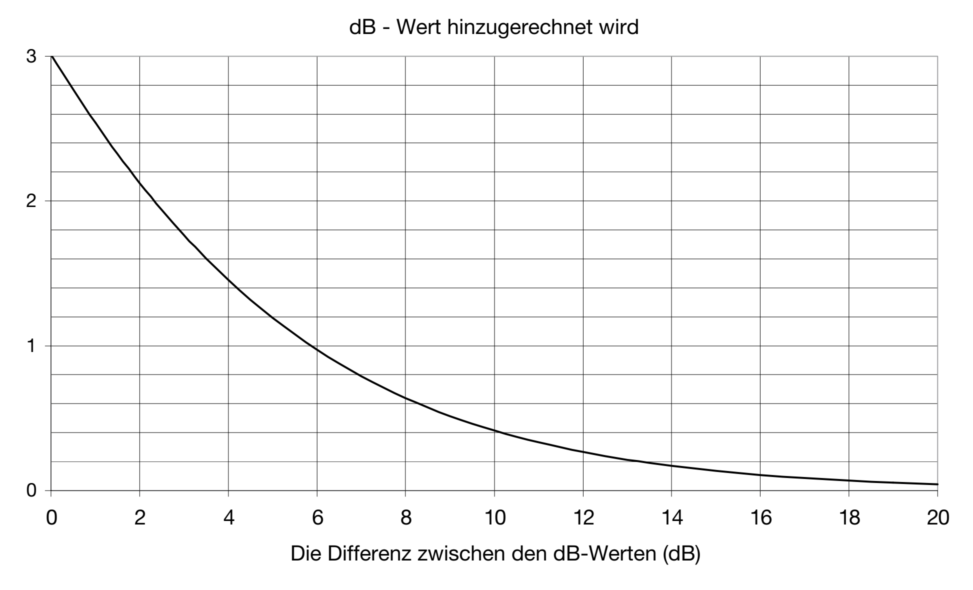


Abbildung 17: Addition von Schallpegeln (logarithmische Addition von Schallleistungspegel oder Schalldruckpegel).